

VII. MAGYAR FÖLDRAJZI KONFERENCIA KIADVÁNYA

2014 Miskolc

**Kiadó: Miskolci Egyetem
Földrajz – Geoinformatika Intézet**



*Szerkesztette:
Kóródi Tibor
Sansumné Molnár Judit
Siskáné Szilasi Beáta
Dobos Endre*

ISBN 978-963-358-063-9

MÉRNÖKGEOMORFOLÓGIAI KUTATÁSOK AZ OMLÁS ÉS CSUSZAMLÁSVESZÉLYES DUNAI ÉS BALATONI MAGASPARTOK PARTFAL-REHABILITÁCIÓJÁBAN

BEVEZETÉS

Az MTA Földrajztudományi Kutatóintézetben évtizedek óta kiemelt kutatási program a felszínmozgásos területek vizsgálata és mérnökgeomorfológiai térképezése (Pécsi 1959, Ádám et. al. 1976, Balogh et al. 1993, Fodor-né et al. 1981, Scheuer 1979, Scheuer és Schweitzer 1984, Schweitzer 1999, Balogh és Schweitzer 2011). A felszínmozgásos kutatások fontos része az omlás és csúszásveszélyes partfalak állékonyságának kutatása, komplex vizsgálata. A dunaújvárosi folyamatos partfal-rehabilitációk mellett a dunai magaspartokon 2004 óta az Európai uniós támogatások felhasználásával szélesebb körű lehetőség nyílt az önkormányzati területeken már régóta ismert és vizsgált omlás és csuszamlás veszélyes partszakaszok rehabilitációjára.

A tanulmány célja, hogy felkeltse a figyelmet a partfalvédelem tervezésében és a kiviteli munkák keretében alkalmazandó geomorfológiai szemléletre az épített rézsűk erózióvédelmére és monitorozására.

Az európai uniós csatlakozásunk óta a felszínmozgásos partfalakkal rendelkező településeken a magaspartok állékonyságának komplex biztosítását új pályázati feltételek keretében koordinálják. 2004-ben a Belügyminisztérium két tájon a Duna mentén és a Balaton környékén az omlásveszélyes magaspartokkal rendelkező települések értékeinek védelmében hosszú távú beavatkozási program alapján kezdte meg a tömegmozgásokkal veszélyeztetett magaspartok védelmét. Az 1-2. táblázat adatai bizonyítják, hogy a partfalvédelmi beruházások milyen komoly feladatot jelentenek az érintett települések önkormányzatainak. A védendő létesítmények értékei számszerűen is alátámasztják a beruházások gazdasági okait. A vis major keret a jogszabályi előírás miatt, csak az önkormányzati tulajdonban bekövetkező károk finanszírozását teszi lehetővé, az állami tulajdonú, állami kezelésben lévő infrastruktúrákban keletkező károkat nem (Oszvald 2011).

MAGASPART VÉDELMI MÓDSZER KIVÁLASZTÁSA NÉHÁNY MÉRNÖKGEOMORFOLÓGIAI SZEMPONT FIGYELEMBE VÉTELÉVEL.

A talajerősítési lehetőségek tervezési folyamatában a döntéshozók és beruházók között körültekintő terepi kutatás és tervezői munka során kerül kiválasztásra a leghatékonyabb magaspart védelem megvalósítása (Balogh et al. 2008, Balogh és Schweitzer 2011). A felszínmozgásos folyamatok kialakulását számos műszaki beavatkozással megelőzhetik és a természeti tényezők ok-okozati összefüggéseinek feltárása után általában a leghatékonyabb és leggazdaságosabb komplex partfalbiztosítási módszert választják.

¹⁰Balogh János: MTA CSFK Földrajztudományi Intézet, E-mail: balogh.janos@csfk.mta.hu

¹¹Jakab Gergely: MTA CSFK Földrajztudományi Intézet, E-mail: jakab.gergely@csfk.mta.hu

¹²Prodán Tímea: MTA CSFK Geodéziai és Geofizikai Intézet, E-mail: prodantimea@ggki.hu

¹³Kis Éva: MTA CSFK Földrajztudományi Intézet, E-mail: kis.eva@csfk.mta.hu

¹⁴Szalai Zoltán: MTA CSFK Földrajztudományi Intézet, E-mail: szalai.zoltan@csfk.mta.hu

¹⁵Szeberényi József: MTA CSFK Földrajztudományi Intézet, E-mail: szeberenyi.jozsef@csfk.mta.hu

¹⁶Varga György: MTA CSFK Földrajztudományi Intézet, E-mail: varga.gyorgy@csfk.mta.hu

¹⁷Viczián István: MTA CSFK Földrajztudományi Intézet, E-mail: viczian.istvan@csfk.mta.hu

Sok esetben csak egy hagyományos támfal és egy erősített földszerkezet megépítésére van szükség, gyakoribb azonban egy bevált komplex magaspártvédelemi módszer alkalmazása, mint pl. Dunaújvárosban.

Az átgondolt, tervezett településfejlesztés, a biztonsági szempontok, az építési előírások hatósági szabályozása és építéshatósági betartatása, a műszaki létesítmények biztonságos üzemelése, a környezetvédelmi előírások, a természeti értékek, a hatékony környezetgazdálkodás, és a nemzetgazdasági értékek megóvása szükségszerűvé teszi a partfal-rehabilitációk optimális tervezését és monitorozását is. A magaspártok, talajszerkezetek, az erősített földtömegek kialakítására kidolgozott módszerek megkönnyítik az áttekintést, de nem ölelik fel az összes lehetőséget.

Számtalan olyan gyakorlati megoldás példázza a mérnöki ötletességet, amely komplex partfalvédelemben megvalósult. Az ilyen partfalrehabilitációs beavatkozás az idegen anyagok bevitele, amely lokális szilárdságnövekedést is eredményez, pl. geotextiliák.

Valamennyi beavatkozás a nyírószilárdság növelését célozza. A partfalak és rézsűk stabilizálására használt geotextiliák funkciójukat tekintve használhatók partfalak és töltések mechanikai erősítésére.

Az egyik leghatékonyabb partvédelem a támfalak rézsűs lépcsőzése, és a növényzettel kombinált magaspárti falak kialakítása, a rézsű köröm gabinnal történő megtámasztása. A dunai magaspárt több településen, elsősorban beépített területeken alkalmazták. Dunakömlődön a pincesorokkal bemélyített löszfalak aljában a házak mögött közvetlen a 2-3 m magas vasbetontámfalakkal támasztották meg a rézsűs kialakítású lépcsőrendszert, amelynek földfelszínét növényzettel, vagy geotextiliákkal fedtek be a löszrétegek földtani, litológiai sajátosságainak megfelelően.

BALATONI MAGASPARTOK ÖSSZESÍTŐ TÁBLÁZATA

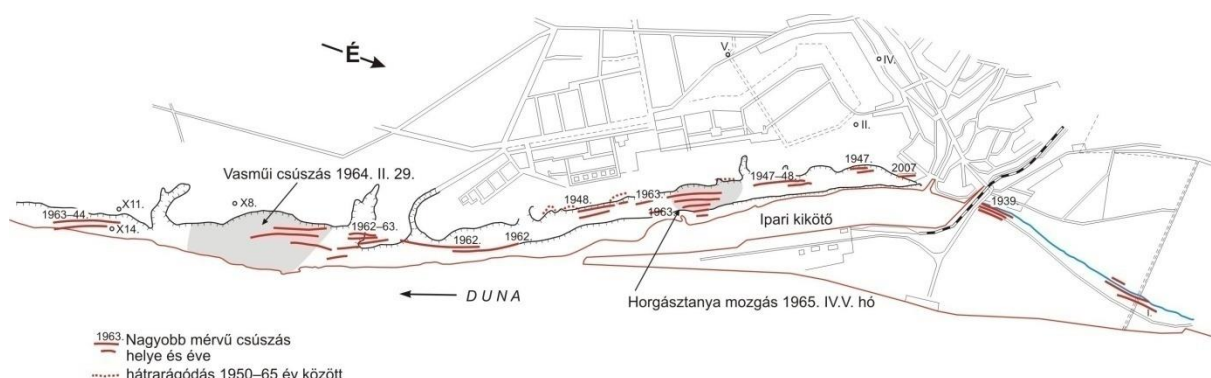
Település	partfal-hossz (m)	védendő érték (mFt)	stabilizáció költsége (mFt)	PÉNZÜGYI ÜTEMEZÉS (millióFt)					
				I. stabilizációs tevékenység: tervszerű					II. stab.tev.:vis-maior (éves tart.keret)
				2006-07	2008	2009	2010	2011-2020	
Tihany	2 750,0	28 412,2	2 110,0	283,0	110,0	200,0	400,0	1 117,0	10,0
Balatonfüzfő	2 700,0	12 441,7	5 309,0	100,0	260,0	530,0	1 000,0	3 419,0	15,0
Balatonkenese, Balatonakarattya	5 900,0	17 287,4	6 331,0	334,0	320,0	630,0	1 250,0	3 797,0	15,0
Balatonvilágos, Balatonaliga	3 250,0	24 875,5	6 040,0	323,0	300,0	600,0	1 200,0	3 617,0	15,0
Zamárdi	1 800,0	4 786,9	1 281,0	25,0	60,0	130,0	250,0	816,0	5,0
Balatonföldvár	1 650,0	3 674,0	2 029,0	111,0	100,0	200,0	400,0	1 218,0	10,0
Balatonszárszó	2 550,0	8 447,0	1 070,0	20,0	50,0	100,0	200,0	700,0	5,0
Balatonboglár	1 730,0	9 094,0	1 094,0	20,0	50,0	100,0	200,0	724,0	5,0
Fonyód	3 800,0	19 523,0	2 146,0	40,0	110,0	210,0	430,0	1 356,0	10,0
ÖSSZESEN :	26 130,0	128 541,7	27 410,0	1 256,0	1 360,0	2 700,0	5 330,0	16 764,0	90,0

*1. táblázat: Az omlás és csúszásveszélyes partfalakkal rendelkező települések és az állékonyság komplex biztosításának tervezett költségei a balatoni magaspártokon
(Kenesei J. – Marokházi G. – Nagy J. 2005)*

DUNAI MAGASPARTOK ÖSSZESÍTŐ TÁBLÁZATA

Település	partfal-hossz (m)	védendő érték (mFt)	stabilizáció költsége (mFt)	PÉNZÜGYI ÜTEMEZÉS (millióFt)					
				I. stabilizációs tevékenység: tervszerű					II. stab.tev.:vis-maior (éves tart. keret)
				2006-07	2008	2009	2010	2011-2020	
Gönyű	2 550,0	2 362,6	563,0	55,0	110,0	225,0	173,0	-	5,0
Nyergesújfalu	2 500,0	2 151,9	328,5	33,0	65,0	130,0	100,5	-	5,0
Esztergom	2 900,0	7 423,0	381,9	38,0	75,0	150,0	118,9	-	5,0
Szob	1 380,0	571,5	400,9	40,0	80,0	160,0	120,9	-	5,0
Zebegény	2 240,0	2 835,2	564,8	56,0	110,0	225,0	173,8	-	5,0
Verőce	1 270,0	1 727,3	283,7	30,0	60,0	110,0	83,7	-	5,0
Nagymaros	7 020,0	5 860,2	2 291,9	93,0	115,0	230,0	460,0	1 393,9	10,0
Visegrád	2 480,0	2 187,3	849,0	85,0	170,0	340,0	254,0	-	10,0
Tahitótfalu	800,0	2 385,4	635,4	60,0	130,0	250,0	195,4	-	5,0
Érd	2 290,0	2 457,1	1 588,1	30,0	80,0	160,0	320,0	998,1	10,0
Ercsi	1 990,0	5 361,4	1 083,8	20,0	50,0	100,0	200,0	713,8	10,0
Kulcs	8 790,0	6 822,5	2 740,6	55,0	140,0	275,0	550,0	1 720,6	15,0
Rácalmás	4 570,0	8 891,5	1 990,4	145,0	100,0	200,0	400,0	1 145,4	15,0
Dunaújváros	7 500,0	603 442,0	39 780,2	1 562,0	1 900,0	4 000,0	8 000,0	24 318,2	25,0
Dunaföldvár	4 750,0	11 930,0	7 795,5	382,0	390,0	780,0	1 560,0	4 683,5	15,0
Bölcske	420,0	896,7	368,6	35,0	70,0	150,0	113,6	-	5,0
Paks	9 350,0	17 046,0	2 837,0	146,0	140,0	280,0	560,0	1 711,0	15,0
Szekszárd	9 600,0	25 722,0	3 557,0	185,0	180,0	360,0	710,0	2 122,0	15,0
Várdomb	760,0	308,6	225,0	20,0	45,0	90,0	70,0	-	5,0
Báta	6 200,0	8 360,0	3 963,0	80,0	200,0	400,0	800,0	2 483,0	15,0
Dunaszekcső	5 860,0	4 581,7	2 466,4	50,0	125,0	250,0	500,0	1 541,4	15,0
Baja	1 180,0	3 872,6	1 134,0	48,0	100,0	110,0	225,0	651,0	10,0
ÖSSZESEN :	86 400,0	727 196,5	75 828,7	3 248,0	4 435,0	8 975,0	15 688,8	43 481,9	225,0

2. táblázat: Az omlás és csúszásveszélyes partfalakkal rendelkező települések és az állékonyság komplex biztosításának tervezett költségei a dunai magaspartonok (Kenesei J, Marokházi G, Nagy J. 2005)



1. ábra: Dunaújváros dunai magaspartjának felszínmozgásokkal érintett szakaszai (Kézdi Á. 1970, Nagy I. 1980, Balogh J. 2011)

DUNA ÉS BALATON MENTI MEREDEK OMLÁSVESZÉLYES PARTSZAKASZOK LÉPCSŐZÉSE ÉS AZ ÉPÍTETT RÉZSŰK ERÓZIÓVÉDELME, MONITOROZÁSA.

A löszterületek hagyományos partvédelmi megoldása a meredek *lőszfalak lépcsőzése*. Az 1950-60-as évektől Dunaujvárosban is így valósították meg a városi partvédelmet (Kézdi 1978, 1. ábra). Itt az épített magasparti szakaszok hibái hamar megmutatkoztak mivel a Mezőföld felől érkező talajvizek, a városi vízközmű hálózat meghibásodásaiból származó káros felszínalatti vizek omlásokat, csuszamlásokat okoztak. A csapadék okozta talajerózió pedig a meredek lépcsős falak felszínét pusztította. Ezért az 1970 -80-as években 3-3 lépcső rézsűvé alakításával átépítették a mai partvédelmi földtámfal rendszert (1. kép), melyet a városi hatáskörű partvédelmi felügyelet üzemeltet.



1. kép: A dunaujvárosi rézsűs partfalvédelem (Balogh J. 2014)

A magaspart rehabilitáció során kialakított burkolatlan, vagy növényzettel nem megfelelően védett mesterséges felszínek kialakításánál alapvető kérdés, hogy a terület a környezeti hatásokra miként fog reagálni. Különösen fontos ennek megismerése a csapadékok beszivárgása, illetve a felszíni lefolyás becslése szempontjából. A felszín alá szivárgó víz mind fizikailag, mind kémiaiilag megváltoztathatja a kialakított struktúrát. A felszínen rekedő csapadék lejtőirányba elfolyva megbonthatja a felszínt, eróziót okozhat (Réthly 1962, 1970).

E folyamatok vizsgálata fokozottan indokolt a magaspartok mentén épített rézsűs földtámfalak esetében, hiszen a dunai magasparti települések peremén kialakított meredek rézsűk fokozottan ki vannak téve a lefutó vizek bevágódásának, másrészt állékonyságuk leromlása, esetleges sérülésük komoly környezeti katasztrófához vezethet. Egy olyan frekvenciált partvédelmi rendszerben is előfordulhatnak, mint pl. Dunaujváros (2-3. kép).

A partfalmozgások bizonyítják, hogy az omlások, csúszások és a talajerózió mellett a szuffúzió (oldási erózió) is komoly felszínformáló szerepe van (2-3. kép, Czigány et al. 2011). A káros felszínalatti vizek áramlásuk révén olyan oldási folyamatokat is generálnak, amelyek részben vagy akár teljes mértékben kioldják az érintett löszréteg mésztartalmát. A legtöbb partvédelmi tervben a talajfizikai paraméterek vizsgálata mellett általában nem

készítenek talajkémiai vizsgálatokat, pl. a legtöbb esetben nincs adat a mozgásveszélyes földtömeg rétegeinek mésztartalmára. A löszrétegben mozgó felszín alatti víz áramlási irányába felléphetnek szuffúziós folyamatok, aminek következtében alagosodás is kialakulhat. Az oldási erózió felszínalatti hatásait geofizikai módszerekkel célszerű feltárni, mint ahogy azt az MTA CSFK Geodéziai és Geofizikai Intézet munkatársai a 2011-es Kulcsi partfalmozgásokkal összefüggésben vizsgálták (Prodán et al. 2013).



2-3.kép: Szuffúziós folyamatok miatt 2008-ban károsodott partvédelmi út a reambuláció előtt és után Dunaujvárosban (Balogh J. 2008, 2014)

Az 1. számú táblázat alapján a Balaton mentén 9 település rendelkezik omlás és csuszamlás veszélyes magaspartokkal. Az elmúlt években kiemelt figyelem kísérte Balatonakarattyán és Fonyódon a sorozatosan ismétlődő partfalmozgásokat. Ezek komoly közlekedési problémákat is okoztak, ezért sürgető feladat a Balaton-menti magaspartok partfal-rehabilitációjának tudományos vizsgálata. A környezeti értékelésben geotechnikai számítások mellett a várható társadalmi hatásokat is vizsgálni kell.

A felszínmozgásokkal érintett partszakaszokról készített tematikus mérnökgeomorfológiai térképek, földtani szelvények, monitoring vizsgálati eredmények a partfal-stabilizációs geotechnikai megoldások, műszaki beavatkozások alapját képezik, segítségükkel következtetni lehet a stabilizációt biztosító építmények és táj kapcsolatára, és meg lehet ítélni a várható környezeti hatásokat is. Balatonakarattyán (Csittény-hegy peremén, a Kisfaludy sétány alatt és a vasútvonal alatti Koppány sor mentén) a vasút melletti magasparton 2009-ben és 2010-ben is voltak felszínmozgások (4. kép).

A Bercsényi strand feletti fosszilis csuszamlásos lejtőszakasztól Balatonkenese irányába a Kisfaludy sétány és a Koppány sor utca közötti magaspart és a környék domborzatának orográfiai tagozódásából, a domborzattípusainak térbeli rendszeréből, továbbá a felszíndomborzatot építő üledékek típusaiból arra lehet következtetni, hogy a mai geomorfológiai kép és a földtani alkat mozgalmasság felszínfejlődés eredménye, melynek legintenzívebb periódusa a holocén időszakra tehető. Ma is fejlődő felszín. A magaspart környezetében fosszilis és recens tömegmozgásos folyamatok és formák egyaránt előfordulnak változatos kifejlődésben, méretüket, genetikájukat és a folyamatok intenzitását tekintve igen eltérőek. A földtömegmozgásos jelenségek kiváltódásában a természetes folyamatok mellett az antropogén hatások is számottevőek.



4. kép: Balatonakarattya vasúti töltés részsű csuszása 2010



5. kép: A fonyódi tanú-hegy Nagy Várdomb (233 m) és a Sipos-hegy (207 m) kettős tetőfelszínének és a 7-es út menti mozgásveszélyes partfalának domborzati viszonyai a Google Earth felvételén

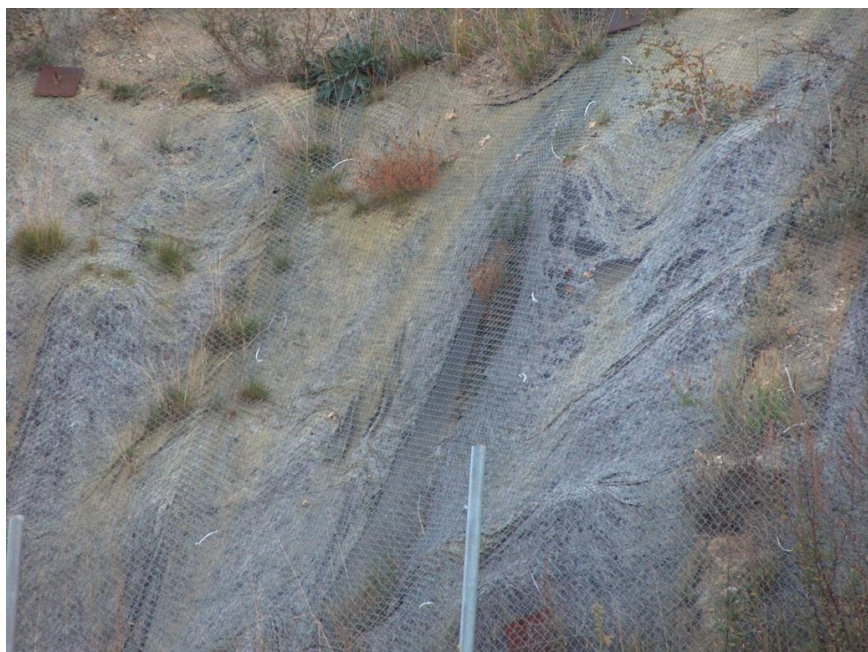
Fonyódon a magaspárt 2 km hosszú szakaszának több pontján komoly méreteket öltöttek a partfalmozgások 2013-ban (5. kép). A földtömegmozgások a szélsőséges meteorológiai események és a földtani rétegsorok sajátosságainak eredményeként alakultak ki. A tetőfelszínen 2-3 méter vastag pleisztocén lösz és homok, majd 15 méter vastag pliocén korú homok települt, homokos-agyag, homokos mészkonkréciókkal összecementált homokkő padok és aleuritos agyag képződött, alatta változó vastagságú homok és agyagrétegek követik egymást a tó (ún. abráziós) szintjéig. A 30-50 m magas, részben szálban álló, a 7-es út és a vasúti sínekre lejtő partfal lejtőállékonysági problémáit már Lóczy Lajos 1913-ban említette Balaton Monográfiai kötetében. Ekkor a szél deflációs tevékenységét emelték ki a magaspártot alakító fő természeti hatásként. Az 1972-es és az 1987-es mozgásoknál a természeti tényezők mellett már antropogén hatások is közreműködtek. Az ezredfordulót követően a balatoni magaspárt omlásai már olyan komplex természeti és antropogén felszínformáló folyamatoknak vannak kitéve, amelyek során a partfal egyes szakaszai elérték a stabilitásuk határát, és a földtömegmozgások kiszámíthatatlanul veszélyeztetik a 7-es út forgalmát, a vasúti közlekedést és megfelelő partfalvédelmi stratégia nélkül belátható időn belül akár emberéletet is veszélyeztethet. Az adekvát védekezés megszervezése érdekében javasoljuk a mérnökgeomorfológiai vizsgálatokat, melynek célja a domborzat fejlődési állapotának, stabilitásának és várható változásának együttes ábrázolása.

Az elmúlt évek felszínmozgásos eseményei (Dunaújváros, Kulcs, Rácalmás, Ercsi, Dunaföldvár, Paks, Dunaszekcső, Baja, valamint a Balaton mentén, Balatonakarattyán és Fonyódon) és kárai fokozottan megerősítik azt a geomorfológia által többször megfogalmazott igényt, hogy a magaspartok védelmében a nyírószilárdság fenntartását és a szerkezeti adottságokat is vizsgáló talajeróziós monitoring rendszert kell kiépíteni. A kiemelten veszélyeztetett rézsúk mentén hosszú távú monitorozásra alkalmas Wischmeier–Smith eróziós mérőkeretet kell kialakítani MSZ 20133 szerint. A 9 %-os, egyenletes lejtésű, 22,4 x 1,98 m alapterületű lejtőszakaszokon a természetes csapadékok talajelhordó hatását mérhetjük, valamint a geotextíliák talajvédő hatását is lehet vizsgálni.

A PARTVÉDELEM ÉS A RÉZSÚFELSZÍNEK ERŐSÍTÉSE NÖVÉNYZETTEL

Számos példa azt bizonyítja, hogy a növénytakaró jelentős mértékben hozzájárul a magaspartok állékonyságához. A fűfélék, cserjék és fák gyökérzete átszövi a talaj legfelső rétegét. A gyökereknek, elemi szálaknak, számottevő húzószilárdságuk van, és általában véletlenszerű elrendeződésben erősítik a 0,1-0,4 m vastagságú földréteget. A gyökerekkel átszőtt földréteg a földművek felületén szinte súlytámfalként vehetők figyelembe és így módon meredekebb rézsúk is kialakíthatók, pl. a füzike (*Epilobium angustifolium*) gyökerei a lejtéssel ellentétes irányban hosszúra nőnek, és így függesztő hatást tudnak kifejteni. Meredek rézsúben a földmunka végzésekor (vagy esetleg utólag) 2-2,5 m hosszú, 15-20 mm átmérőjű fűzhajtásokat helyeznek el. A fűz (*Salix*) nagyon sok fajtája alkalmas erre a célra: a betemetett hajtásokon mellékgyökérzet fejlődik ki, amely néhány hónap alatt eléri a 0,1-0,2 m hosszúságot. Mérnökgeomorfológiai megfontolások alapján a talajadottságok széles tartományában tervezhető kedvező növénytakaró. Ilyenkor figyelembe kell venni pl. a talaj ásványi összetételét, pH-értékét, stb.

A földtömegek erőegyensúlyát kedvezőbbé lehet tenni idegen anyagok behelyezésével. A partfalak és rézsúk stabilizálására használt geotextíliák funkciójukat tekintve használhatók partfalak és töltések mechanikai erősítésére. A nem körültekintő kivitelezés és a környezeti kutatásokat nem figyelembe vevő tervezés miatt számos helyen a geotextíliás partvédelem nem fejti ki hatását és csak költségnövelő tényezőként működik a partfal-rehabilitációk során (6. kép).



6. kép Nyergesújfalu Sánc-hegy 11-es út melletti geotextíliákkal rosszul védett lejtője (Balogh J. 2008).

AZ ÉPÍTETT RÉZSŰK STABILITÁSÁNAK VIZSGÁLATA TEREPI MESTERSÉGES ESŐZTETÉSSSEL

Az MTA Földrajztudományi Kutatóintézetben az ezredforduló környékén kidolgoztak egy hatékony módszert az épített rézsűk talajeróziós adottságainak kutatására.

A terepi mérések egy hordozható, közepes méretű eső-szimulátorral történnek. A terepi mérés lehetővé teszi, hogy ténylegesen a mintaterületen tapasztalható körülmények között határozzuk meg az épített rézsűk állékonyságát befolyásoló tényezőket, a vizsgált rézsűszakasz víznyelő és vízáteresztő képességét, illetve a felszín állékonyságát a lefolyó vízzel szemben. A természetes állapotú („érintetlen”) megfigyelt téglalap alakú parcella nagysága $6 \times 2 = 12 \text{ m}^2$, amelyet az esésvonalakkal párhuzamos hossz-tengellyel tüzzük ki. E területnagyság már jól tükrözi a felszín heterogenitását, jelentősen csökkenti a szegélyhatás okozta hibát, következésképp sokkal megbízhatóbb eredményt ad, mint az 1 m^2 nagyságrendű mintaterületet vizsgáló esőztető berendezések.

Az eső-szimulátorral végzett mérések során lehetőség nyílik a vizsgált parcella konstans vízáteresztő-képességének meghatározására. A módszer nagy előnye, hogy a hagyományos módszerekkel (keretes beáztatás, laboratóriumban vizsgált, bolygatatlan talajminta, stb.) szemben a helyszínen, természetes körülmények között, „in situ” mérhető, a vizsgált terület pedig 12 m^2 , amely nagyságából adódóan sokkal jobban tükrözi a talaj heterogenitását.

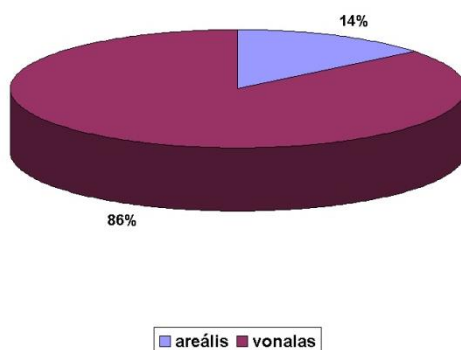
A kijelölt kísérleti parcellát a nem kívánatos el- és ráfolyás meggátlására függőleges fémlemezekkel határoljuk. Az öntözött terület minden irányban min. 0,5 m-rel a megfigyelt területet meghaladja (azaz a megfigyelt területnek közel a dupláját – $3 \times 7 \text{ m}$ -t – esőztetjük a „szegélyhatás” mérséklése érdekében) (7. kép). Itt meg kell említenünk az eső-szimulátor telepítésével kapcsolatos eróziót mesterségesen növelő tényezőket. A parcella területén ugyanis a telepítés szükségszerűen okoz minimális „talajsebeket”. Ezen talajsebeket igyekszünk a munka során minimálisra korlátozni, de az elkerülhetetlen kisebb talajfelszín-változásokat, kéreg-töréseket (gitt, ill. vízüveg felhasználásával) a mérések előtt „rögzítjük”. Ezzel a technikával a mesterséges beavatkozás talajpusztulást elősegítő hatását a minimumra csökkentjük. Magyarország területén jelentős eróziót okozó 40 mm h^{-1} intenzitású 15 perces időtartamú csapadékot átlagosan évente egyszer észlelnek, 30 perceset 3 évenként, 40 perceset 5 évenként, 1 órás időtartamút pedig 10 évenként. Ez a gyakoriság indokolta, hogy az eső-szimulátorral végzett mérések zömét is ilyen hevedességű mesterséges esővel végezzük. Az esőintenzitás talajeróziós hatásait vizsgálva (szántóföldi vízkapacitásig feltöltött talajoknál) 30, 40, 60, 90 és 130 mm h^{-1} intenzitások mellett történnek a mérések.



7. kép: Eső-szimulátorral végzett mérések épített rézsűszakaszon

8. kép: A vonalas erózió nyomai a fedetlen parcellán, az eső-szimulátoros mérések után

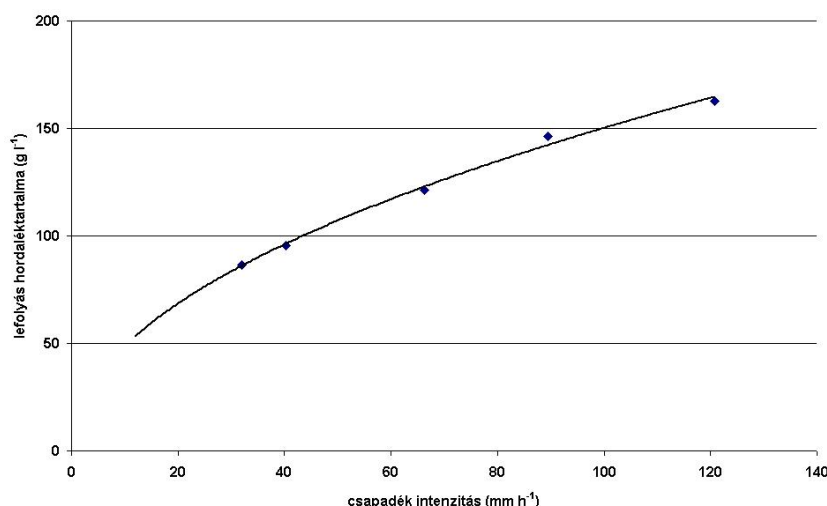
A talajlehordásnak alapvetően az épített rézsű felszíneken két fő típusát különítjük el, nevezetesen az areális, vagy lepel eróziót, amely a felszín egészét pusztítja, és a mikrodomborzathól adódó vízösszefolyások mentén kialakuló, a megnövekedett víztömeg energiájából fakadó vonalas eróziót. A dőngölt épített rézsű felszínen a vizsgálatok megkezdésekor a meglévő mikrobarázdák a vonalas erózió kialakulásának és terjedésének kiinduló helyei (2. ábra, 8. kép).



2. ábra: Az összes lehordott anyag megoszlása az erodálódás típusa szerint

A lefolyó víz mennyisége párban a lefolyás időadataival igazolja, hogy állandó intenzitású esőterhelés mellett kezdetben egységnyi idő alatt mind több és több víz távozik a területről. A növekvő ütemű elfolyás kivétel nélkül, minden esetben nagyobb hordalékszállítást mutat. Ha a kezeléseken belül nem rendelkezünk elegendő számú adattal, akkor statisztikailag értékelhető összefüggéseket mutassunk ki, de általánosságban elmondható, hogy adott intenzitású kezelésen belül a hordalék sűrűsége az idő négyzetgyökével egyenes arányosságban nő. A talajelhordás mennyiségéért a lepelerózió esetében nem elsősorban a növekvő víztömeg, sokkal inkább a talajfelszín elért cseppek száma és kinetikai energiájuk a felelős. Ezt látszik alátámasztani az esőztetés befejezése után a területről lefolyó víz hordalék szállító képessége. Ez az érték a nagyobb intenzitású kezelések esetében nem éri el az esőztetés átlagos egységnyi vízre jutó hordalék szállítását, míg a kisebb intenzitású kezeléseknél meg is haladja azt. Ennek pontos oka még tisztázásra vár, de valószínűsíthető, hogy a lepelerózió csak a nagy intenzitásoknál okoz jelentős talajpusztulást, amely az esőterhelés megszűntével leáll. A kisebb intenzitások esetében a vonalas talajelhordás szerepe a meghatározó, ebből adódhatnak a növekvő hordalékszállítás értékek. Ha a kezeléseken belüli hordalékszállítási értékeket átlagoljuk, az adott intenzitáshoz tartozó lefolyás sűrűség értékét kapjuk. Ily módon meghatározható az intenzitás és a lefolyás sűrűsége közötti összefüggés, amely az alábbi egyenlettel írható le (3. ábra).

Az esőztetés befejezésével mérjük a területen az eső után lefolyó víz összegyülekezési idejét és mennyiségét is. Az előbbi adatokkal együtt becsülni tudtuk az esőztetés „vége felé” a mozgó vízlepel átlagos vastagságát és mozgási sebességét. A vízlepel tökéletesen egyenletes, mikrodomborzat nélküli lejtést feltételezve egyenletes vastagságban borítja a területet, miközben egyrészt lejtőirányban halad, másrészt a talajba szívárog. Jelentősége a jellemzően lepel lepusztulástól fenyegetett területeken nagy, a túlnyomó részben vonalas erózióval pusztított lejtőkön csupán elvi fontossággal bír.



3. ábra: A lefolyás szárazanyag tartalma és a csapadékinintenzitás közötti összefüggés dögölt löszön

$$\text{elhordás (g/l)} = 15,927(\text{intenzitás (mm/h)})^{0,4874}$$

$$R^2 = 0,9958$$

ÖSSZEGZÉS

2014-ben az a MTA CSFK Földrajzi Intézetben az omlás és csuszamlásveszélyes partfalak és talajeróziós kutatások alkalmazási lehetőségeit vizsgáltuk a partfal-rehabilitációk során épített rézsűk állékonysági, felületvédelmi, valamint a talajeróziós kutatások összekapcsolásával. A dunai és balatoni magaspártok mentén alkalmazásra javasolt kutatásokat, Baja és Fonyód települések környezetében tervezzük, ahol a műtárgyak tájba illesztése és állékonysága kiemelten fontos. Ezért a magaspártvédelem tervezésében és a kiviteli munkák előkészítésében növelni kell a geomorfológiával kapcsolatos monitoring vizsgálatokat. A tárgyalt partfal monitorozási eljárások és műszaki beavatkozások természetesen nem terjedhetnek ki az omlás és csuszamlásveszélyes folyamatok minden lehetőségére. A veszélyeztetett dunai magaspártokon a már működő és tervezett partfal-rehabilitációk vizsgálatában felhívjuk a döntéshozók, tervezők és önkormányzatok figyelmét a geomorfológiai kutatások fontosságára. Ezen belül a terepi mesterséges esőztetés és erózió mérés előnyeire, a számítógépes modellezés széleskörű felhasználhatóságára a magaspártok védelmében. Ez a módszer lehetővé teszi, hogy nagy megbízhatóságú és emellett térben és időben is jól kiterjeszthető adatokat nyerjünk az időjárás hatásainak kitett mesterséges felszínek hidrológiai tulajdonságairól és felszínfejlődéséről. Megítélésünk szerint e módszer jól alkalmazható minden olyan mesterséges és természetes felszín vizsgálatánál, melynek stabilitását hosszú távra szeretnénk garantálni. A célorientált geomorfológiai kutatások környezeti hatáselemzéseken kívül pénzügyi és költséghaszon elemzések és a hatástanulmányhoz kapcsolódóan a tudományos kutatási eredmények bemutatásával együtt alátámasztják egy-egy magaspártvédelmi szakasz biztonságos megvalósulását, a műszaki munkák ütemezését. A tárgyalt vizsgálati módszerek alkalmazásával biztonságosabban megvalósulnak azok a célkitűzések, projektek, amelyek az omlásveszélyes partfalak káreseményeire irányulnak. A stabilizációval kapcsolatos kutatások bővülésével a környezeti értékek, a felszínmozgásos területek védelme és a környezetbiztonság növelése megvalósul, így a mozgásveszélyes magaspártokkal rendelkező településeken egy biztonságosabb élhetőbb környezet alakulhat ki.

IRODALOM

- ÁDÁM L., JUHÁSZ Á., SCHWEITZER F., SZILÁRD J. 1976. Magyarország felszínmozgásos területének földtani–műszaki katasztere. – Tolnai dombság, Duna-mente. MTA FKI, Bp. 55 p.
- BALOGH J., SCHEUER GY., SCHWEITZER F. 1993. Felső-Duna környezeti állapotváltozások 1986–1992 között. A magaspартok állapotértékelése c. kutatási téma MTA FKI kézirat 43 p.
- BALOGH J., SCHWEITZER F., VICZIÁN I. 2008. Bátaapáti magasparti területeinek tömegmozgásai és a partvédelem műszaki megoldásának lehetőségei. In: SCHWEITZER F., BÉRCI K., BALOGH J. (szerk.) A Bátaapátiban épülő Nemzeti Radioaktív hulladék-tároló környezetföldrajzi vizsgálata, Budapest, MTA FKI, pp. 122–135.
- BALOGH J., SCHWEITZER F. 2011. Felszínmozgásos folyamatok a Duna Gönyű-Mohács közötti magasparti szakasán. In: SCHWEITZER F. (szerk.) Katasztrófák tanulságai: stratégiai jellegű természetföldrajzi kutatások. Budapest, MTA FKI, pp. 101–142.
- CZIGÁNY SZ., FÁBIÁN SZ. Á., PIRKHOFFER E., VARGA G. 2011. Villámárvizek: a kisvízfolyások hirtelen áradásának problémái. In: SCHWEITZER F. (szerk.) Katasztrófák tanulságai: stratégiai jellegű természetföldrajzi kutatások. Budapest, MTA FKI, pp. 101–142.
- FODOR T.-né, HORVÁTH ZS., SCHEUER GY., SCHWEITZER F. 1981. A Dunakömlőd–Paks közötti dunai magaspарт mérnökgeológiai térképezése és vizsgálata. Földtani Közlöny, 111:2. pp. 258–280.
- KENESEI J., MAROKHÁZI G., NAGY J. 2005. Mozgásveszélyes Duna-menti és Balaton parti magaspартok veszélyelhárítási munkáinak tanulmányterve. Kézirat. 71p
- KÉZDI Á. 1970. A dunai városi partrogyás. Mélyépítéstudományi Szemle, XX. évf. 7. pp. 281–297.
- KÉZDI Á. 1978. Talajmechanikai példák és esettanulmányok. Tankönyvkiadó Budapest, 271 p.
- OSZVALD T. 2011. Földcsuszamlások 2010-ben, „Klíma-21” Füzetek 63. pp. 169–193.
- LÓCZY L. 1913. A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei. 1. köt. 1. r. 1. szakasz. A Balaton környékének geológiai képződményei és ezeknek vidékek szerinti telepedése. – Budapest, Magyar Földrajzi Társaság. Balaton Bizottság, 617 p.
- PÉCSI M. 1959. A magyarországi Duna-völgy kialakulása és felszínalaklata. Akad. Kiadó, Bp., 346p
- PRODÁN T., PRÁCSER E., BALOGH J., KIS É., NOVÁK A., UDVARDI B., VICZIÁN I. 2013. Geoelektromos tomográfia Kulcs település felszínmozgásos területén. In: TÖRÖK Á., GÖRÖG P., VÁSÁRHELYI B. (szerk.) Mérnökgeológia-Közetmechanika, Hantken Kiadó, Budapest, pp. 49–58.
- RÉTHLY A. 1962, 1970. Időjárási események és elemi csapások Magyarországon I–II. – Akad. Kiadó, Bp., 450, ill. 622 p.
- SCHEUER GY. 1979. A dunai magaspартok mérnökgeológiai vizsgálata. Földtani Közlöny, 109:2. pp. 230–254.
- SCHEUER GY.–SCHWEITZER F. 1984. A dunai magaspартok lösz-összletének deformációs formái és töréses szerkezete. Mérnökgeológiai Szemle, 33. pp. 145–162.